



Title	THEORETICAL STUDY OF THE INTERFACIAL PHENOMENA IN CHARGED BIOSYSTEMS
Author(s)	和泉谷, 行男
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/39356
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	和 泉 谷 行 男
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 1 4 3 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 6 年 4 月 21 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第2項該当
学 位 論 文 名	THEORETICAL STUDY OF THE INTERFACIAL PHENOMENA IN CHARGED BIOSYSTEMS (電荷を帯びた生体系における界面現象についての理論的研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 葛 西 道 生 (副査) 教 授 柳 田 敏 雄 教 授 鈴 木 直 助 教 授 宮 城 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、生体系における界面領域での電荷を持つ系についての理論的な研究について述べたものである。特に生体膜の電気的性質についての物理は、生細胞において最も基本的に重要なものである。本論文は四つの章からなる。

第一章では人工膜での陽イオン吸着についての機構の研究が述べられる。我々はDPPC (1, 2 - dipalmitoyl - sn - glycero - 3 - phosphocholine) 二重膜の層状構造において、そのgel状態での30mMの塩化カルシウム水溶液における膜間斥力Pと膜間距離dwについての実験について、修正されたPoisson - Boltzmann方程式を用いて解析した。観測されたP - dw curveは単一のCa²⁺ ionの結合定数K (association constant)によって記述されない。我々は数値計算による解析によってlog₁₀Kと膜表面での電場E_bの間に線形関係があるのを見いだした。その結果、結合エネルギー△Uは△U - E_b平面上である直線上に乗る。

それは次のように書ける。

$$\Delta U = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot E_b$$

この線形関係は静電的なcation - dipole (陽イオン - 双極子)相互作用によって説明できる。これは吸着したCa²⁺ ionと膜表面にある極性基双極子 (-P - N⁺ dipole)の間の相互作用である。その線形関係を示すために大きな双極子モーメント(19 Debye)を持った-P - N⁺ dipoleの振る舞いについて、二つのモデルが定式化された。一つは連続的な構造変化を考慮に入れた連続変化モデル(continuous change model, CCM)と、他の一つは不連続変化モデル(discrete change model, DCM)である。CCMでは-P - N⁺ dipoleはパラメータAを持った調和近似されたポテンシャルの中にあると考えられている。これらのモデルがKの変化を説明できるかどうかを調べるために、その傾きα₁が計算された。CCMとDCMのそれぞれに対して得られた値α₁(CCM)とα₁(DCM)は膜の結晶状態(crystalline state, or, gel state)でのP - dw curveの解析から得られた値α₁(P - dw)と同じ大きさの数値を持つ。このKの電場依存性は膜の液晶状態で消える可能性(特に連続変化モデルにおいて、極性領域での水の誘電率に関連して)を持っている。

第二章では電解質水溶液と油の界面において荷電膜に対する表面状態方程式が定式化され、統計力学に基いて研究さ

れることを述べる。電気鏡像力とイオン-イオン相関エネルギーを考慮にいれた修正されたPoisson - Boltzmann方程式が定式化されている。膜イオンに対して一様な電荷密度の近似では従来の理論と殆ど同じであるが、膜イオンの揺らぎの効果について得られた計算の結果、表面圧力に対する従来の理論と実験の食い違いが見事に説明できる。

第三章では DLVO (Derjaguin - Landau - Verway - Overbeek) 相互作用している多層構造を持った系におけるエントロピーによる排除体積斥力 (steric repulsion) について研究されている。undulation (波打ち) mode の有限なサイズによる low momentum cut - off によって DLVO 相互作用が存在しないときは、undulation free energy が膜間距離 d_w とともに指数関数的に減衰することが示される。このことは、系の不安定性を取り除く。(Helfrich の解では undulation 斥力は $1/d_w^2$ に比例するが、van der Waals 引力は $-1/d_w^4$ に比例する。) DLVO 相互作用が存在するとき、我々は物理的に合理的な境界条件のもとで undulation free energy についての自己無撞着な方程式を定式化し、解いた。ある有限な膜の面積 A に対して有限な膜間距離が得られる。しかし、より大きな A に対しては、相対変位の 4 次の次数まで理論を拡張する必要がある。

第四章では、電解質水溶液の表面張力について計算されている。

電解質水溶液 (1 - 1 electrolytes, NaCl, KCl, など) と空気の界面においてイオンは界面から電気鏡像力を受け、界面付近ではイオン密度が少なくなる。電気鏡像力は対イオンによって遮蔽されており、この効果は従来、Onsager - Samaras の理論によって記述してきた。我々は Debye - Hückel 方程式を WKB 近似によって解くことによって、自己無撞着な取り扱いで遮蔽効果を取り入れた。その結果、Onsager - Samaras 理論を改良し、表面張力の実験結果により近い値を得ることができた。

論文審査の結果の要旨

生体系では神経伝達を始め電気現象は最も重要でかつ基本的なものである。本論文は電荷を帯びた生体系における界面現象について統計物理学的な手法で理論的な研究を行った結果をまとめたものである。

本論文は 5 章からなる。まず、第 1 章は一般的な導入であり、研究のバックグラウンドが述べられている。第 2 章は人工膜での陽イオン吸着についての機構の研究が述べられている。DPPC (1, 2 - dipalmitoyl - sn - glycero - 3 - phosphocholine) 膜のゲル状態での層状構造において Ca^{2+} 存在下で膜は一定間隔で配向するが、そのときの膜間斥力と膜間距離についての実験結果を統計力学的方法で解析し、膜に対する Ca^{2+} の結合定数が单一の定数としては記述できない原因について解析した。そこで静電的な cation - dipole 相互作用を導入して説明し、 Ca^{2+} の結合定数の電位依存性が液晶状態では消失する可能性および水の誘電率の変化を予言している。第 3 章は電解質水溶液と油の界面における荷電膜のふるまいについて、表面状態方程式を定式化し統計力学的な研究を行ったものである。電気鏡影力とイオン-イオン相互作用を考慮した Poisson - Boltzmann 方程式を定式化し、表面圧力に対する従来の実験と理論の食い違いを見事に説明した。第 4 章は DLVO (Derjaguin - Landau - Verway - Overbeek) 相互作用をしている多層構造を持つ系におけるエントロピーによる排除体積力の研究である。第 5 章は電解質水溶液の表面張力についての計算である。電解質水溶液と空気の界面ではイオンは界面から電気鏡影力を受け界面近くではイオン密度が少なくなる現象がある。これについては従来は Onsager - Samaras の理論で解析されていたが、著者は Debye - Hückel 方程式を改良し、表面張力の実験結果により近い値を得た。

以上のように、本論文は生体系における表面電気現象の基礎となる理論研究を行ったもので、膜現象において重要な知見を与えるものであり、学位論文として価値あるものと認める。